



卫星遥感技术在热带气旋监测中的应用 ——以“伊代”为例*

崔燕, 聂娟, 刘明, 李素菊

(1. 应急管理部国家减灾中心, 北京 100124; 2. 应急管理部卫星减灾应用中心, 北京 100124)

摘要:【目的】我国是世界上自然灾害最严重的国家之一, 灾害种类多, 发生频率高, 强度大、灾害群发、地域分异明显, 严重影响人民生命财产和国民经济的发展。卫星遥感技术作为一种受地面条件限制少、方法多、信息量大、大范围天基动态感知手段, 与地面监测、无人机监测等技术结合, 成为开展国内外重特大自然灾害的重要应急监测手段。【方法】针对2019年3月西南印度洋洋面生成的强热带气旋“伊代”对非洲东部国家莫桑比克、津巴布韦、马拉维部分地区造成的灾害, 利用多源多时相卫星遥感影像, 结合行政区划、地表覆盖、舆情信息等多种类型数据资源, 利用区域生长法和变化检测的方法, 以莫桑比克为研究区开展了持续一周的洪涝淹没范围和房屋、道路等重点要素的遥感监测。【结果】监测结果显示莫桑比克索法拉省蓬圭河和布济河两岸大量村庄和农作物被淹没。2019年3月25日, 布济河下游、蓬圭河上游部分区域洪水淹没范围消退, 但大部分地区洪水淹没时长超过6 d。【结论】监测结果为防灾减灾救灾决策支持提供了技术支撑。

关键词: 卫星遥感; 强热带气旋; 伊代; 遥感监测

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20190505

0 引言

热带气旋(我国统称台风)是影响我国东海沿海地区的主要自然灾害之一, 每年汛期登陆我国的台风都会造成人员伤亡和直接经济损失。台风可能引起风暴潮、大风和暴雨灾害^[1]。风暴潮使沿海水位上升数米, 严重时导致海水漫溢和海堤溃坝, 冲毁房屋和基础设施, 淹没城镇和农作物。大风可能吞没海上船只, 影响海上作业人员和近海鱼排养殖人员安全。暴雨导致的洪涝灾害, 最具危险性, 强度大, 出现频率高, 波及范围广, 来势凶猛, 破坏性极大, 淹没房屋、农作物和基础设施。另外, 台风可能引发的内涝、滑坡、泥石流、倒房、坠物等次生灾害严重影响人们正常的生产生活。我国应急管理部自2018年3月成立以来, 高度重视防汛抗旱防台风工作, 健全完善自然灾害防范救援救灾一体化机制, 根据应对重特大自然灾害的应急管理体系内容, 国家防总适时启动防汛防台风应急响应, 派出工作组分赴受影响省份, 协助开展防汛防台风工作。国际上, 受热带气旋影响国家政府一

收稿日期: 2019-09-27

第一作者简介: 崔燕(1979—), 副研究员。研究方向: 空间技术减灾应用。Email: cuiyan@ndrec.org.cn

* 基金项目: 国家重点研发计划专题“灾后恢复重建动态监测技术”(2017YFC1502903-3)



般依靠自身力量开展应急救援和恢复重建，也可向其他国家或者国际组织提出国际援助需求，以共同开展灾害救援，减少人员伤亡和直接经济损失，尽快恢复生产生活。

卫星遥感技术作为一种受地面条件限制少、方法多、信息量大的大范围天基动态感知手段，在灾害管理中一直发挥着独特的优势^[2]。应急管理部国家减灾中心从 2008 年汶川地震^[3-4]以来，针对国内上百次启动自然灾害救助应急响应的重特大自然灾害开展了卫星遥感应急监测，包括 2010 年青海玉树 7.1 级地震^[5-6]和甘肃舟曲特大山洪泥石流、2013 年四川雅安 7.0 级地震^[7]、2013 年甘肃漳县岷县 6.6 级地震、2014 年云南鲁甸 6.5 级地震、2017 年四川九寨沟 7.0 级地震等国内重特大自然灾害。另外，近年来针对澳大利亚火灾、非洲旱灾、缅甸洪涝、老挝溃坝等 10 余次国际重特大自然灾害，开展了国际卫星遥感监测服务。

党的十八大以来，习近平总书记多次就防灾减灾救灾工作发表重要讲话。2015 年 6 月 2 日，习近平总书记在十八届中共中央政治局第二十三次集体学习时强调，要切实增强抵御和应对自然灾害能力，坚持以防为主、防抗救相结合的方针，坚持常态减灾和非常态救灾相统一，全面提高全社会抵御自然灾害的综合防范能力。这标志着我国灾害管理全过程中，从一直以来的以救灾为主的应急管理理念，向综合防灾减灾为主的新时代应急管理理念发生转变，为当代应急管理的发展指明了发展方向。卫星遥感的监测重点也从以灾后应急监测为主，兼顾风险监测和恢复重建监测，转变为以风险监测为主，统筹风险监测、应急监测和恢复重建监测。在此过程中，除了在应急监测中发挥重要作用的高空间分辨率光学卫星和高空间分辨率的雷达卫星外，具有高时间分辨率和大范围监测的遥感卫星也不断发挥出自身的优势。应急管理部国家减灾中心针对热带气旋的卫星遥感监测初步形成了包括卫星遥感风险监测、卫星遥感应急监测和卫星遥感恢复重建监测等 3 方面内容的监测体系。

(1) 卫星遥感风险监测。利用高时间分辨率、中低空间分辨率光学遥感卫星，动态监测台风位置、风眼、台风和热带云团变化、移动路径、影响范围、可能登陆位置等台风实时情况。同时利用灾前高空间分辨率光学遥感数据，掌握可能影响范围内的房屋、农作物和基础设施的分布情况，为灾前灾后遥感信息变化检测提供影像数据支撑。

(2) 卫星遥感应急监测。利用不同时相中时空分辨率的雷达卫星数据开展大范围洪涝淹没区域的动态监测和变化检测，整体把握灾害影响范围和程度。同时利用高空间分辨率的雷达和光学卫星对重点损毁目标开展遥感监测，监测灾害要素的损毁程度。

(3) 卫星遥感恢复重建监测。利用高空间分辨率光学遥感卫星数据，对损毁房屋、农作物、基础设施等恢复重建情况开展定期监测，监测恢复重建进度。

文章以强热带气旋“伊代”为例，开展基于遥感技术的风险和应急监测研究。

1 “伊代”基本情况

强热带气旋“伊代”2019 年 3 月 4 日在西南印度洋洋面上生成，随后登陆非洲东南部。3 月 10 日热带低气压增强为中度热带风暴，命名为“伊代”(IDAI)。3 月 14—15 日夜间“伊代”在莫桑比克中部索法拉省贝拉市附近登陆，以超过 175 km/h 的风速袭击莫



2019年10月

桑比克中部沿海地区,大量降雨导致布吉河和蓬圭河2条主要河流河水泛滥,沿途多个村庄被淹没。大风和洪涝给莫桑比克索法拉省、赞比亚省、马尼卡省和伊尼扬巴内省多地带来了持续一周以上严重的洪涝灾害、山体滑坡和河水决堤。截止2019年4月3日“伊代”已造成598人死亡,1600多人受伤,8.5万间房屋完全损毁,11万间房屋造成不同程度损坏,另外,还有超过7.1万hm²的农作物受灾。

灾害发生后,多个国家、地区和世界卫生组织、儿基会等国际组织向受灾地区发起人道主义救援。经党中央、国务院批准,2019年3月24日应急管理部派出中国救援队65名队员携带20t搜救、通讯、医疗等救援设备、物资前往灾区,经过12d圆满完成国际救援任务。应急管理部在开展国际救援的同时,国家减灾中心利用多源多时相卫星遥感影像,针对“伊代”开展了风险监测和应急监测。

2 国际机制响应

2.1 空间与重大灾害国际宪章

《空间与重大灾害国际宪章》(CHARTER)^[8]目前成员16个,卫星资源40余颗,可以通过授权用户向受到自然或人为影响的地区提供服务。2019年3月14日应莫桑比克强热带气旋灾害监测请求,22点04分(UTC时间)针对莫桑比克强热带气旋灾害启动《空间与重大灾害国际宪章》^[9],共获取了包括Meteosat8、Landsat7、Pleiades-1A/B、Worldview-3、GeoEye-1在内的6颗光学卫星和Sentinel-1A/B、TerraSAR-X、TanDEM-X、GF3、ALOS-2在内的6颗雷达卫星灾后遥感影像。利用灾前光学遥感卫星影像开展洪涝淹没范围内房屋存量提取,灾后光学和雷达卫星遥感影像开展洪涝淹没范围、房屋倒损程度、道路、桥梁、工厂等基础设施损毁以及滑坡等次生灾害的遥感监测工作。制作卫星遥感监测产品35期,为莫桑比克提供灾害应急监测产品服务。

2.2 哥白尼应急管理服务机制

哥白尼应急管理服务机制(CompernicusEMS)^[10]是欧盟哥白尼计划的重要组成部分,主要卫星资源为Sentinel系列卫星和现有商业和公益卫星组成的贡献卫星。应莫桑比克的请求,2019年3月15日10点04分(UTC时间)启动哥白尼应急管理服务机制(CompernicusEMS)^[11]。根据灾害的影响范围,生成10个感兴趣区域,利用Sentinel-1A/B、Radarsat-2、COSMO-SkyMed等灾前灾后卫星影像开展洪涝淹没范围变化遥感监测,制作完成范围监测图29期,同时利用Worldview-3、Pleiades-1A/B、GeoEye-1等卫星灾前灾后影像开展房屋、道路倒损程度遥感监测,制作完成程度监测图12期,为莫桑比克强热带气旋“伊代”带来的严重洪涝灾害提供卫星快速制图服务。

3 国家减灾中心卫星遥感监测

3.1 数据获取

从2019年3月10日“伊代”命名到3月23日“伊代”残余完全消散,以在莫桑比

克中部索法拉省贝拉登陆为时间分界点，分别利用高时间分辨率光学遥感卫星影像和多源遥感卫星影像开展风险监测和应急监测。

(1) 登陆前，跟踪“伊代”实时路径（位置和中心附近最大风力）和预报路径，判断可能登陆的位置和影响范围，积极获取非洲莫桑比克国家、省、市行政区划数据、土地利用数据、地形地貌信息，以及多时相高时间分辨率气象卫星影像。同时，根据“伊代”可能登陆的位置，查询下载处理灾前高分辨率光学遥感卫星影像数据，共获取灾前 GF-1、GF-1C、GF6 等 3 颗卫星影像 7 景（图 1，表 1）。

(2) 登陆后，根据登陆点位置和重点关注区域，及时制定卫星观测计划，提交中国资源卫星应用中心。卫星成像后，通过与中国资源卫星应用中心的专线，准实时获取灾后高分系列卫星标准一级数据产品。同时通过互联网获取 Sentinel 系列、NOAA 等开源卫星遥感影像。截至 2019 年 3 月 27 日，共获取灾后 NOAA、Sentinel、GF-1、GF-2、GF-3、GF-6 等 6 颗卫星影像 63 景。（图 2，表 1）

表 1 强热带气旋“伊代”卫星遥感数据获取情况
Table 1 Acquisition of satellite remote sensing data of intense tropical cyclone IDAI

序号	时间	阶段	卫星 / 载荷	分辨率	数量 (景)	开展工作
1	2017-06-05	灾前	GF1/WFV	16 m	3	本底影像制作
2	2018-12-04	灾前	GF-1C/PSM	2 m/8 m	1	本底影像制作
3	2019-01-12	灾前	GF-1/PSM	2 m/8 m	1	本底影像制作
4	2019-03-01	灾前	GF-6/WFV	16 m	2	本底影像制作
5	2019-03-14	灾后	NOAA/AVHRR	1 km	1	台风云系动态监测
6	2019-03-15	灾后	NOAA/AVHRR	1 km	1	台风云系动态监测
7	2019-03-16	灾后	NOAA/AVHRR	1 km	1	台风云系动态监测
8	2019-03-17	灾后	NOAA/AVHRR	1 km	1	台风云系动态监测
9	2019-03-18	灾后	NOAA/AVHRR	1 km	1	台风云系动态监测
10	2019-03-19	灾后	NOAA/AVHRR	1 km	1	台风云系动态监测
11	2019-03-19	灾后	Sentinel-1	20 m	1	洪涝范围及变化监测
12	2019-03-20	灾后	NOAA/AVHRR	1 km	1	台风云系动态监测
13	2019-03-20	灾后	Sentinel-1	20 m	1	洪涝范围监测
14	2019-03-21	灾后	GF2/PSM	1 m/4 m	23	洪涝范围及要素监测
15	2019-03-24	灾后	GF3	10 m	2	洪涝范围监测
16	2019-03-24	灾后	GF-6/WFV	16 m	3	洪涝范围监测
17	2019-03.25	灾后	GF2/PSM	1 m/4 m	11	洪涝范围及要素监测
18	2019-03-26	灾后	GF-6/PMS	2 m	12	洪涝范围监测
19	2019-03-26	灾后	GF-6/WFV	16 m	2	洪涝范围监测
20	2019-03-27	灾后	GF1/WFV	16 m	1	洪涝范围监测
合计					70	

2019年10月

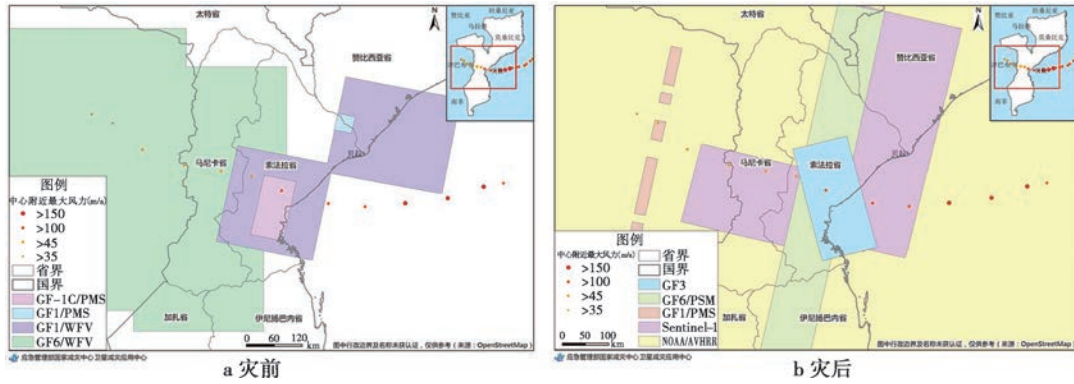


图1 强热带气旋“伊代”卫星遥感影像分布图

Fig.1 Distribution map of satellite remote sensing images of intense tropical cyclone IDAI

3.2 数据处理

国产高分系列卫星、NOAA、Sentinel 系列卫星数据处理算法的应用已较为成熟，该研究利用自主研发的数据处理系统和高分共性技术项目成果等软件平台，开展多源多时相遥感卫星数据的标准化批量处理。该软件平台具有处理环节少、时间短、效率高等优点。

3.3 监测分析

利用2019年3月14日6时17分(UTC时间)NOAA卫星的影像数据，结合“伊代”实时路径和预报路径，制作“伊代”路径图，在该时刻中心附近最大风力为150m/s，达到我国的超强台风级，可能登陆位置为莫桑比克全国第二大经济中心和主要港口贝拉(图2)。

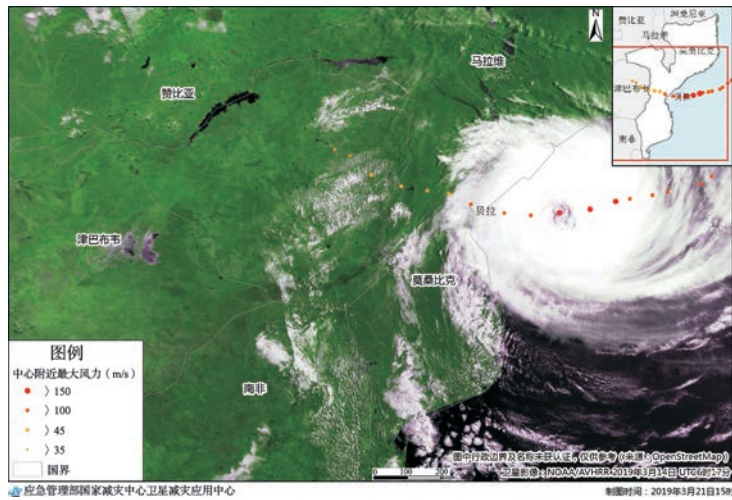


图2 强热带气旋“伊代”路径图(2019年3月14日)

Fig.2 Path map of intense tropical cyclone IDAI in March 14, 2019

利用宫鹏绘制的10 m空间分辨率全球地表覆盖图(FROM-GLC10)^[12]和2017年6月5日高分一号卫星遥感影像，分析法拉省中部贝拉的社会经济现状，如图3、图4所

示。贝拉位于蓬圭河口北岸，布济河以北，腹地宽广，人口密集，森林草原资源丰富，公路、铁路、机场等交通基础设施发达，是非洲东海线主要的贸易港口。



图 3 重灾区贝拉灾前 GF-1 遥感影像图 (2017 年 6 月 5 日)
Fig.3 GF-1 pre-disaster remote sensing image of Beira in June 5, 2017

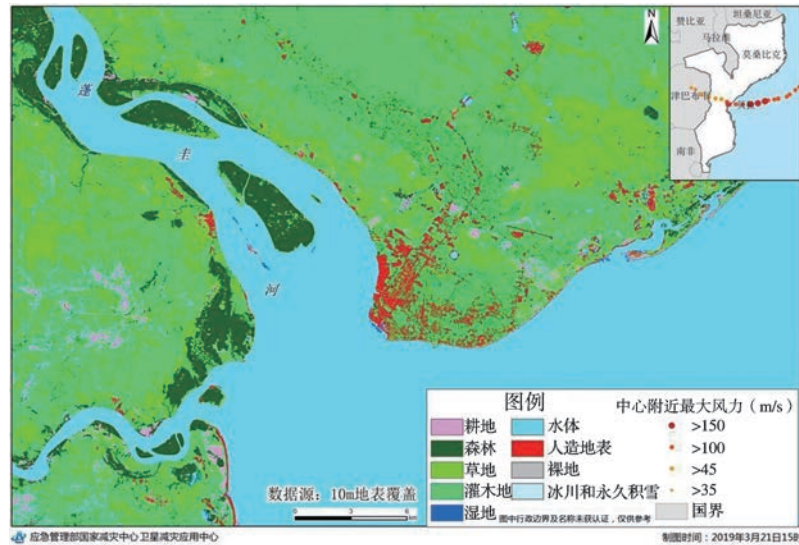


图 4 重灾区贝拉 10 m 地表覆盖图
Fig.4 10m resolution global land cover map of Beira

利用 2019 年 3 月 20 日 Sentinel-1 雷达卫星影像和 2019 年 3 月 25 日 GF-6 和 GF-2 光学遥感卫星影像，对蓬圭河和布济河沿岸的洪涝淹没范围进行变化监测（图 5）。监测结果显示，索法拉省蓬圭河和布济河两岸大量村庄和农作物被淹没。2019 年 3 月 25 日，布济河下游、蓬圭河上游部分区域洪水淹没范围消退，但大部分地区洪水淹没时长超过 6 d。

2019年10月

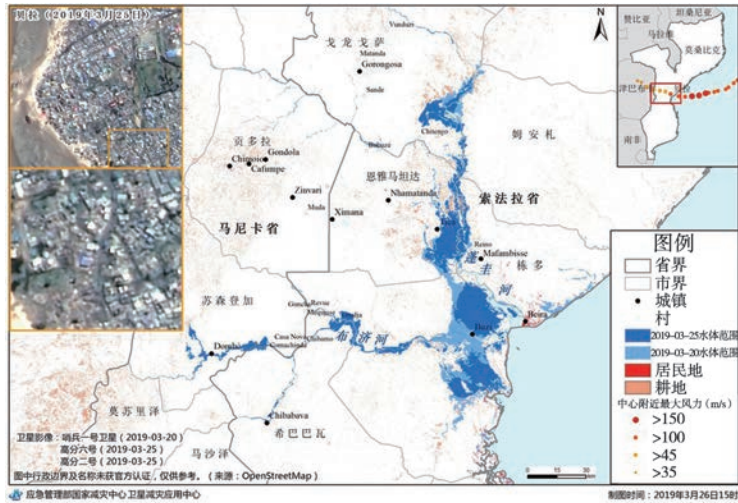


图5 “伊代”重灾区洪涝淹没范围变化图(2019年3月20日和3月25日)
Fig.5 Flood monitoring map of the hardest hit area in IDAI in March 20 and March 25, 2019

4 结论

综合利用多源多时相卫星遥感数据,结合行政区划数据、地表覆盖数据和舆情信息,针对强热带风暴“伊代”开展了风险监测和应急监测研究,为决策支持提供了技术支撑。后续研究中,还应在以下2个方面进一步完善。

(1) 针对可能影响我国的台风,及时关注浙江省水利厅台风路径实时发布系统、中国台风天气网、中国气象台台风网等网站系统发布的路径走势、风力风圈、可视风场、雷达基本反射率产品、气象卫星云图、降水实况和降水预报等大量信息,全面跟踪台风变化和可能产生的影响,为制定卫星遥感数据任务规划提供准确的技术支撑。

(2) 继续开展基于卫星遥感技术的“伊代”恢复重建进度监测工作。

参考文献

- [1] 张汉武. 台风的产生危害与利弊. 防灾博览, 2019 (4): 64~67.
- [2] 范一大. 遥感技术支持下的灾害管理. 中国减灾, 2005, 12 (2): 46~48.
- [3] 范一大, 杨思全, 王磊, 等. 汶川地震应急监测评估方法研究. 遥感学报, 2008, 12 (6): 858~864.
- [4] 陈世荣, 马海建, 范一大, 等. 基于高分辨率遥感影像的汶川地震道路损毁评估. 遥感学报, 2008, 12 (6): 949~955.
- [5] 李素菊, 吴玮. “空间与重大灾害国际宪章”玉树地震灾情监测应用分析. 中国航天, 2011, 12 (6): 3~6.
- [6] 杨思全, 刘三超, 吴玮, 等. 青海玉树地震遥感监测应用研究. 航天器工程, 2011, 20 (2): 90~96.
- [7] 崔燕, 李博, 张薇, 等. 雅安地震房屋倒塌情况遥感影像解译. 航天器工程, 2014, 23 (5): 129~134.
- [8] 李素菊. 《空间与重大灾害国际宪章》合作机制介绍. 中国减灾, 2018, 12 (3 上): 60~61.
- [9] Charter activations. <https://disasterscharter.org/web/guest/activations/-/article/cyclone-in-mozambique-activation-598->, 2019.
- [10] 李素菊. 哥白尼应急管理服务机制介绍. 中国减灾, 2018, 12 (4 上): 54~55.
- [11] EMSR348: Tropical Cyclone IDAI in Mozambique. <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR348, 2019>.
- [12] Gong P., Liu H., Zhang M. N., et al. Stable classification with limited sample: transferring a 30-m resolution sample set collected in 2015 to mapping 10-m resolution global land cover in 2017. *Science Bulletin*, 2019, 64 (6): 370~373.



Application of satellite remote sensing technology in tropical cyclone monitoring——taking “IDAI” as an example

Cui Yan, Nie Juan, Liu Ming, Li Suju

- (1. National Disaster Reduction Center of China of Ministry of Emergency Management, Beijing 100124, China;
2. Satellite Application Center for Disaster Reduction of Ministry of Emergency Management, Beijing 100124, China)

Abstract: [**Purpose**] China is one of the countries with the most serious natural disasters in the world. There are many types of disasters, high frequency, high intensity, large number of disasters and geographical differentiation, which seriously affect the development of people's lives and economic development. As a kind of large-scale space-based dynamic sensing method with limited ground conditions and large amount of information, satellite remote sensing technology often participates in emergency monitoring of major natural disasters together with ground monitoring and UAV monitoring. [**Method**] According to the disaster caused by the strong tropical cyclone “IDAI” generated in the southwestern Indian Ocean in March 2019, which affected parts of Mozambique, Zimbabwe and Malawi in eastern Africa, the study used multi-source and multi-temporal satellite remote sensing images, combined with administrative data, surface coverage, and public opinion information. And it used regional growth methods and change detection methods to monitor flood inundation area, houses and roads continued for a week in Mozambique. [**Result**] The monitoring results showed that a large number of villages and crops on the banks of the Pengu River and Buzi River in Sofa Province were inundated. On March 25, the flood inundation area in the lower reaches of the Buzi River and the upper reaches of the Pengu River subsided, but most of the areas were flooded for more than 6 days. [**Conclusion**] The monitoring results provide technical support for decision maker.

Key words: satellite remote sensing; strong tropical cyclone; IDAI; remote sensing monitoring